



**T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
(Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü)**

Sonuç Raporu

Proje No:
MMF-1901-16-20

Proje Adı:
BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARIN DENEYLERİNDE KULLANILMASI İÇİN
FARKLI ALTERNATİF YAKITLARA UYUMLU ELEKTRONİK KONTROLLÜ BİR
YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Yürütücü:
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ

Bölüm:
Makine Mühendisliği Bölümü

Araştırmacılar:
Doç. Dr. Murat SARIKAYA, Dr. Öğr. Üyesi Abdülkerim KARABULUT, Öğr. Gör. İ. Umut
DURAN, Öğr. Gör. Volkan ÇAVUŞ.

SİNOP
(NİSAN/ 2019)

ÖNSÖZ

Günümüzde içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt kullanımına yönelik çalışmalar yoğunlaşarak devam etmektedir. Alternatif yakıtların özelliğine göre motorda en elverişli kullanım koşullarının araştırılması önemlidir. Bu bağlamda yakıtların kimyasal bileşimine göre değişen hava/yakıt oranına bağlı olarak yakıt sistemlerinin optimizasyonu yapılmalıdır. Bu çalışmada alternatif yakıtlara uyumlu bir yakıt enjeksiyon sistemi geliştirilmiştir. Bu amaç için tek silindirli buji ateşlemeli bir motorun karbüratörlü yakıt sistemi, enjeksiyonlu yakıt sistemine dönüştürülmüştür. Alternatif yakıtlara uyumlu olarak çalışan ve hava fazlalık oranı değiştirilebilen bu sistemle içten yanmalı motor deneylerinin daha hassas gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu proje MMF-1901-16-20 proje numarası ile Sinop Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Sinop Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürlerimizi sunarız.

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ
Proje Yürütücüsü

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iii
TABLolar LİSTESİ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Özetleri	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Yakıt Sistemi ve Çeşitleri	4
2.1.1. Karbüratörlü yakıt sistemi	4
2.1.2. Enjeksiyonlu yakıt sistemi	5
2.1.2.1. Tek noktalı yakıt enjeksiyon sistemleri.....	6
2.1.2.2. Çok noktalı yakıt enjeksiyon sistemleri	7
2.2. Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	9
2.3. Yapay Sinir Ağı (YSA)	12
3. GEREÇ VE YÖNTEM	13
3.1. Projede Kullanılan Gereçler	13
3.1.1. Deney motoru.....	14
3.1.2. Yakıt enjektörü ve pompası	15
3.1.3. Gaz keleşi	16
3.1.4. Yakıtlar	17
3.1.5. Manifold mutlak basınç sensörü (MAP)	18
3.2. Yöntem.....	18
4. BULGULAR	21
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	25
6. KAYNAKLAR.....	26
SİNOP ÜNİVERSİTESİ PROJE ÖZET BİLGİ FORMU	27

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1	Basit karbüratör [8].....	4
Şekil 2	Yakıt enjeksiyon sistemi püskürtmeye göre çeşitleri	6
Şekil 3	Tek nokta yakıt enjeksiyon sistemi.....	6
Şekil 4	Mono-jetronik tek nokta yakıt enjeksiyon sistemi genel görünümü.....	7
Şekil 5	Çok nokta yakıt enjeksiyon sistemi	8
Şekil 6	K-Jetronik sistemin şematik diyagramı	8
Şekil 7	L-Jetronik sistemin şematik diyagramı.....	9
Şekil 8	Örnek bir yapay sinir ağı	13
Şekil 9	Kurulan sistemin şematik şekli	14
Şekil 10	Yakıt sistemi dönüştürülen deney motoru	14
Şekil 11	Yakıt pompası ve enjektörü	15
Şekil 12	Gaz kelebeğinin genel görünümü	17
Şekil 13	MAP sensörü genel görünümü	18
Şekil 14	Kurulan sistemin akış şeması.....	19
Şekil 15	Elektronik baskı devre kartı tasarımı	20
Şekil 16	Kurulan YSA modeli	20
Şekil 17	Farklı HFK değerlerinde benzin ile elde edilen HC emisyon değişimleri.....	23
Şekil 18	Farklı HFK değerlerinde benzin ile elde edilen CO emisyon değişimleri.....	24
Şekil 19	Farklı HFK değerlerinde benzin ile elde edilen CO ₂ emisyon değişimleri	24

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1 Motorun teknik özellikleri.....	15
Tablo 2 Yakıtların bazı fiziki ve kimyasal özellikleri [15-17]	17
Tablo 3 Tasarlanan elektronik kontrol ünitesinde benzin yakıtlı çalışmada elde edilen bazı değerler.....	22
Tablo 4 Tasarlanan elektronik kontrol ünitesinde etanol yakıtlı çalışmada elde edilen bazı değerler.....	22
Tablo 5 Tasarlanan elektronik kontrol ünitesinde isobütanol yakıtlı çalışmada elde edilen bazı değerler.....	22

BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARIN DENEYLERİNDE KULLANILMASI İÇİN FARKLI ALTERNATİF YAKITLARA UYUMLU ELEKTRONİK KONTROLLÜ BİR YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada alternatif yakıtlara uyumlu port tipi bir yakıt enjeksiyon sistemi geliştirilmiştir. Sistem, benzin, etanol ve isobütanol yakıtlarına göre ayarlanmıştır. Dahası, sistem bu yakıtların istenilen hava fazlalık katsayısı (HFK) değerinde kullanımı sağlayacak şekilde programlanmıştır. Deneysel amaçlı hazırlanan bu sistem üzerinde yapılacak ufak değişikliklerle her türlü yakıt ve motor özelliklerine uygun olarak ta ayarlanabilecektir. Bu amaç için, 390 cc silindir hacmine sahip tek silindirli, buji ateşlemeli ve hava soğutmalı bir motorun karbüratörlü yakıt sistemi port tipi enjeksiyonlu yakıt sistemine dönüştürülmüştür. Bunun için elektronik bir kontrol ünitesi geliştirilmiş ve motora bazı sensör ile yardımcı aparatlar eklenmiştir. Bunlara ek olarak, deneyler sırasında motorda istenilen HFK değeri ayarlanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kurulan sistem benzin, etanol ve isobütanol ile test edilmiş ve başarılı olarak çalıştığı tespit edilmiştir. Sadece ani yüklere sistem cevap vermekte gecikmiş ve kısmen bazı sıkıntılar olduğu gözlemlenmiştir. Egzoz emisyon cihazının bulunmaması nedeniyle, özel bir firmadan temin edilen cihazla yapılan egzoz emisyon deneyleri cihazın kalibrasyonunu bozma olasılığı nedeniyle sadece benzin yakıtlı sonuçlar verilmiştir. Yüksüz olarak 1500d/d ve 3000 d/d motor hızında gerçekleştirilen deneylerde motorun hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (CO₂) emisyon sonuçları çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Buji ateşlemeli motor; yakıt enjeksiyon sistemi; etanol; isobütanol; hava fazlalık katsayısı (HFK); egzoz emisyonu

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC CONTROLLED FUEL INJECTION SYSTEM WHICH IS COMPATIBLE WITH DIFFERENT ALTERNATIVE FUELS IN ORDER TO USE A SPARK IGNITION ENGINE TEST

ABSTRACT

In this study, a port fuel injection system which is compatible with alternative fuels has been developed. The system is adjusted for petrol, ethanol and isobutanol fuels. Furthermore, the system is programmed to provide the use of these fuels at the desired excess air coefficient. With the small changes in this system prepared for experimental purposes, it can be adjusted according to all kinds of fuel and engine characteristics. For this purpose, the carburetor fuel system of a single-cylinder, spark-ignition and air-cooled engine with a cylinder volume of 390 cc were converted into a port-type injection fuel system. For this purpose, an electronic control unit was developed and some sensors and auxiliary devices were added to the engine. In addition, the desired excess air coefficient value in the engine during the experiments is designed to be adjusted. The system has been tested with gasoline, ethanol, and isobutanol and has been found to be successful. It was observed that only sudden loads were delayed in responding to the system and some problems were observed. Due to the absence of exhaust emission device, exhaust emissions were measured by the device supplied from a special company. However, because of the possibility of disrupting the calibration of the device to alcohol fuels, only the emissions in the gasoline-fueled operation were measured. The engine's hydrocarbon (HC), carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO₂) emission results have been obtained with the tests carried out under unloaded conditions at motor speeds of 1500 rpm and 3000 rpm.

Keywords: Spark ignition engine; fuel injection system; ethanol; isobutanol; excess air coefficient; exhaust emission

1. GİRİŞ

Buji ateşlemeli motorlara sahip taşıtlarda 1990'lı yıllardan sonra yakıt enjeksiyon sisteminin kullanımı çevresel nedenlerden dolayı zorunlu hale gelmiştir. Yakıtı motora basınçlı olarak gönderen bu sistemlerde, yakıtın hava ile daha homojen olarak karışması sağlandığından elverişli yanma ortamı oluşmaktadır. Bu durum motor performansının artmasına ve çevresel etkilerin sınırlandırılmasına neden olmaktadır. Taşıtların üzerindeki yakıt sistemleri kullanıldığı motorun özelliklerine ve yakıt türüne göre imal edilmekte ve ayarlanamayan bir sistem olarak üretilmektedir. Mevcut sistemlerde, farklı bir yakıt kullanıldığında zaman sistemin düzeni bozularak motorun verimli çalışmasını etkilemektedir. Araştırmacılar, motorda herhangi bir alternatif yakıt kullanacakları zaman ilk ayarladıkları değer H/Y oranına bağlı olan HFK değeridir. Öncelikle bu değer stokiometrik değerde ($HFK=1$) tutulması sağlanarak motor performansı, yanma ve egzoz emisyon karakteristikleri incelenmektedir. Ayrıca, farklı HFK değerlerinde motordaki performans değişimleri de incelenmektedir. Motorlarda benzine alternatif olan yakıtların performans ve emisyon açısından elverişli kullanımının araştırıldığı motor deneylerinde HFK'nın sonuçlar üzerindeki etkisi oldukça hassastır. Motor deneylerinde sağlıklı sonuçların elde edilebilmesi HFK'nın hassas olarak ayarlanabilmesine bağlıdır. Alternatif yakıt ve karışım yakıtlarında bunun ayarlanması zordur. Bu nedenle, proje kapsamında alternatif yakıtların farklı HFK değerlerinde kullanılabilmesine olanak sağlayacak deneysel amaçlı ayarlanabilen ve uyarlanabilen elektronik bir yakıt enjeksiyon sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı yakıt türleri için elektronik kontrol ünitesinde kullanılmak üzere algoritmalar oluşturulmuştur. Ayrıca, karbüratörlü olan tek silindirli bir motor port tipi yakıt enjeksiyon sistemine dönüştürülmüştür.

Buji ateşlemeli motorlarda performans ve çevresel yönden verimliliğin artırılması için yapılan araştırma deneylerinde, yakıt tüketimine bağlı deneysel hataların azaltılması, daha hassas ve kontrol edilebilir bir yakıt sisteminin geliştirilmesi bu projenin temel amacıdır. Araştırmalar daha çok benzine alternatif yakıtların kullanılabilirliği üzerine yoğunlaşmaktadır. Alternatif yakıtların saf veya benzin ile karışım oluşturarak kullanılmasının araştırıldığı deneylerde H/Y oranı ayarlanarak HFK'nın sabit tutulması, uygulamada araştırmacıları zorlamaktadır. Bu projeye geliştirilen ayarlanabilir yakıt enjeksiyon sistemi ile, karışım yakıtlarında da istenilen HFK oranı ayarlanarak motor deneylerinin hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmesi amaçlar arasındadır.

1.1. Literatür Özetleri

Literatürde yakıt enjeksiyon sistemlerinin geliştirilmesi hakkında bazı çalışmaları yapılmıştır. Salman vd. dört silindirli karbüratörlü bir motora tek nokta yakıt enjeksiyon sistemine dönüştürerek karbüratörlü yakıt sisteminden elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Enjeksiyon sistemi ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre motor momenti ve gücün karbüratörlü sisteme göre çok fazla değişmediği fakat emisyonlarda büyük oranda iyileşmeler sağlandığı gözlemlenmiştir [1]. Diğer bir çalışmada, hava soğutmalı düşük güç kapasiteli buji ateşlemeli bir motor için geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemini bulanık mantıkla hazırlanan bir denetleyici ile kontrol etmişlerdir. Elektronik kontrol ünitesinin giren motor hızı ve emme manifoldu basıncı gibi veriler bulanık mantıkla değerlendirilerek enjektörün açık kalma süresi kontrol edilmiştir. Çalışmada motorun orijinal yakıt sistemi ile geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin motor performans ve emisyonlar açısından karşılaştırılmasını yapmışlardır. Sonuçlara göre yapılan sistemin orijinal yakıt sistemine göre performans ve emisyon açısından daha iyi olduğu tespit edilmiştir [2].

Literatürde alkol yakıtların BAM'larda saf olarak veya karışım olarak uygulanmasına yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Turner vd. yakıt püskürtmeli bir deney motorunda benzin ve benzin-etanol karışımlarını yakıt olarak kullanmışlardır. Bu yakıtların kullanımı sırasında AA'nın yanma verimine (YV), motor verimine ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, karışımdaki etanol oranının artmasıyla yanma hızının, EFV'nin ve silindir gaz basıncının (SGB) arttığı, NO_x ve CO emisyonlarının ise azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca ateşleme zamanının geciktirilmesi ile etanol karışimli yakıtların motorun verimliliğini artırdığı tespit edilmiştir [3]. Yapılan diğer bir çalışmada, karbüratörlü ve enjeksiyonlu yakıt sistemine sahip iki motorlu bisiklette yakıt olarak E15 ve kurşunsuz benzin kullanımının egzoz emisyonları üzerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Şasi dinamometresinde yapılan deney sonuçlarına göre, kurşunsuz benzine kıyasla E15 karışım yakıtı kullanımının CO emisyonunu karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemlerde sırasıyla %32 ve %10 oranında azalttığı tespit edilmiştir. HC emisyonunda ise enjeksiyonlu sistemlerde %10'luk bir azalma olurken, karbüratörlü sistemlerde bir azalma görülmemiştir. Ayrıca karbüratörlü yakıt sisteminde E15 kullanımının NO_x emisyonunu azalttığı tespit edilmiştir [4]. Chen vd. yapmış oldukları deneysel çalışmada, çok noktalı direk püskürtmeli yakıt enjeksiyon sistemine sahip tek silindirli bir motorda, stokiyometrik oranlarda benzin ve etanol-benzin karışımı (E0, E10, E20, E50, E70, E85) kullanımının partikül maddeler (PM) üzerine etkisini incelemişlerdir.

Farklı ortam sıcaklıklarında yapılan deneyler sonucunda karışım yakıtlarının püskürtme ve yanma sürelerini uzattığı ve yanma karakteristiğini değiştirdiği görülmüştür. Aynı zamanda, PM emisyonlarının da arttığı tespit edilmiştir [5]. Zhuang vd. etanol ve benzin yakıtları için ayrı ayrı dizayn edilmiş iki farklı yakıt enjeksiyon sistemine sahip, tek silindirli, buji ateşlemeli bir motorda yakıt olarak etanol-benzin karışımı (E0 ve E60) kullanımının motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonları üzerine etkisini incelemişlerdir. Dört farklı motor hızı ve iki ayrı motor yükünde yapılan deneyler sonucunda, karışım içerisindeki etanol oranının artmasıyla ortalama efektif basıncın (OEB), EFV'nin ve volumetrik verimin arttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, etanol oranı arttıkça maksimum SGB'nin yükseldiği, kütleli yanma oranının ise azaldığı görülmüştür. Ek olarak, NO_x emisyonu azalırken, CO ve HC emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir [6].

Şahin yapmış olduğu doktora çalışmasında, tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motor için bilgisayar kontrollü bir yakıt enjeksiyon sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem ile, yakıt enjeksiyonu, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyicinin kontrolünü yapılmaktadır. Karbüratörlü yakıt sistemi ve geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemi kullanılarak yapılan deneylerde performans ve emisyon testleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemiyle bilgisayar kontrolü ile hava/yakıt oranı istenilen değerde hassas bir şekilde tutulmuştur. Tam yük ve kısmi yüklerde yapılan deneyler sonucu motorun performansında karbüratörlü sisteme göre herhangi bir değişim olmadığı tespit edilmiştir [7].

1.2. Çalışmanın Amacı

Projenin amacı; buji ateşlemeli motorların performans testlerinde kullanmak üzere farklı yakıt türü ve motor özelliklerine göre uyarlanabilen ve ayarlanabilir olan elektronik kontrollü bir yakıt enjeksiyon sistemi geliştirmektir. Motor testlerinde yakıt sisteminin ayarlanabilir olması önemlidir. Klasik yöntemde bu işlem (özellikle tek silindirli motorlarda), karbüratör ana memesine yerleştirilen bir ayar vidası ile manuel olarak yapılmaktadır. Ayrıca, deneyler sırasında karbüratör sisteminin neden olduğu düzensizlikler sağlıklı sonuçların elde edilmesini güçlendirmektedir. Bu olumsuz etki alternatif yakıtın kullanılmasıyla birlikte daha zor bir hal almaktadır. Yapılacak olan enjeksiyon sisteminin benzin, etanol, isobütanol ve karışım yakıtlarına (etanol/benzin, isobütanol/benzin) göre düzenlenmesi ve seçilen yakıt türünde HFK değerinin ayarlanabilmesi amaçlanmıştır

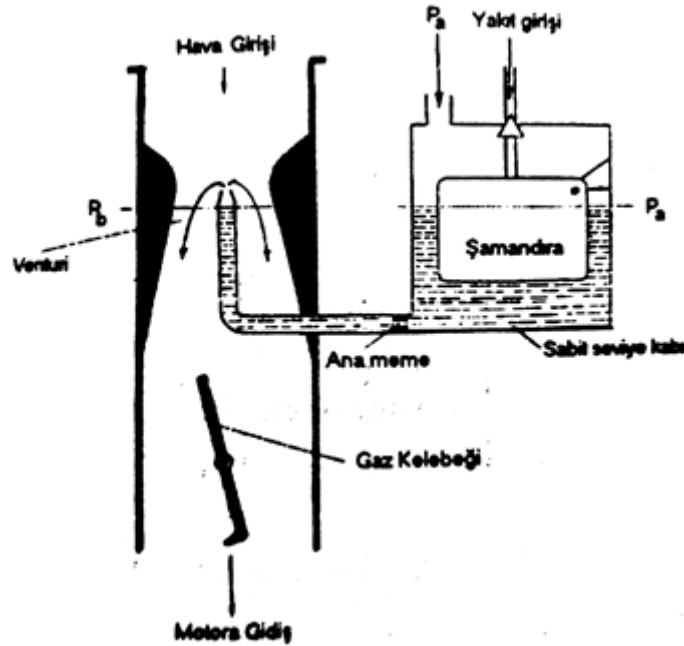
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yakıt Sistemi ve Çeşitleri

İçten yanmalı motorlarda yakıt sistemleri motorun çalışabilmesi için gereksinim duyduğu yakıt ihtiyacını karşılamak için kullanılan sistemlerdir. Ayrıca, yanma ve egzoz emisyonu açısından en uygun miktardaki yakıtın hava ile homojen karışım oluşturmalarını sağlamaktır. Dahası soğuk havalarda çalışmasında, ani güç ihtiyaçlarında ve motorun boşa (rölanti) çalışması gibi durumlarda da yakıt sistemleri gerekli ihtiyaçları karşılayabilecek özellikte olması beklenir. Günümüz buji ateşlemeli motorlarda karbüratörlü ve enjeksiyonlu yakıt sistemleri kullanılmaktadır. Sistem bu bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

2.1.1. Karbüratörlü yakıt sistemi

Bu yakıt sisteminde, yakıt ile hava ventüri sistemi esasına göre karıştırılmaktadır. Basit bir karbüratörün şematik görünümü Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1 Basit karbüratör [8]

Şekilde görülen ventüri adında verilen daraltılmış boğazdan hava geçerken akışın hızlanmasına bağlı olarak yakıt kanalının ucunda bir basınç düşümü gerçekleşir. Karbüratörde bulunan şamandıra deposu üzeri atmosfer basıncına maruz kaldığı için, depodaki yakıtın ventüri boğazından akmasına neden olur. Böylelikle hava ile yakıtın karışımı gerçekleştirilir.

Yakıtın miktarını ise yakıt kanalında bulunan yakıt memesinin çapı belirler. Bu çap motorun silindir hacmi ve yakıt türüne bağlı olarak önceden hesaplanarak belirlenmektedir. Ayrıca, karbüratör boğazının çapı buji ateşlemeli motorlarda hızı sınırlayan bir unsurdur.

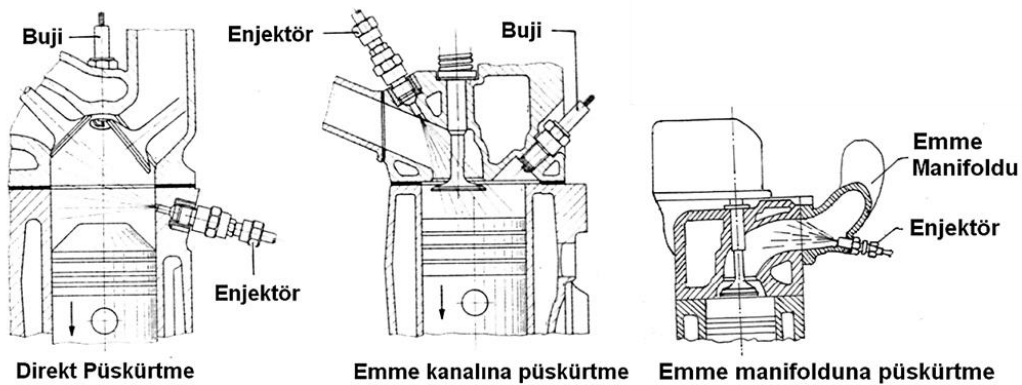
2.1.2. Enjeksiyonlu yakıt sistemi

Karbüratörlü yakıt sistemleri bazı dezavantajlara sahiptir. Örneğin karbüratörde yakıt ile hava karıştıktan sonra emme manifolduna gitmektedir. Bu manifoldun geometrisi ve ebadı karışımın homojenliğine direk etki etmektedir. Homojen olmayan karışımlarda tam yanma işlemi gerçekleşmediği için, güç düşümüne ve fazla yakıt tüketimine neden olmaktadır. Bu ve buna benzer dezavantajları azaltmak için yakıt enjeksiyon sistemleri geliştirilmiştir [9]. Bu sistemde yakıt, silindirlerin içerisine ya da emme kanalına püskürtülerek hava ile karıştırılmaktadır. Sistem ilk defa 1898-1901 yılları arasında kullanımı denenmiş ve 1935 yılından sonra taşıtlarda uygulanmaya başlanmıştır [8]. Ancak yaygınlaşması 1970'li yıllarda başlayan bu sistem, 1990'larda taşıtların egzoz emisyonunun çevresel etkilerini azaltmak için karbüratör kullanımının yasaklanmasıyla, günümüz benzinli taşıtlar enjeksiyonlu yakıt sistemli olarak imal edilmektedirler. Ancak, jeneratör, bahçe bakım gereçleri, su pompaları, konveyör vb. sistemlerde kullanılan tek silindirli buji ateşlemeli motorlarda yakıt sistemi karbüratörlü olarak üretilmektedir. Yakıt enjeksiyon sistemlerinin taşıtlarda sağladığı faydalar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

- Motorda yakıtın püskürtülerek karıştırılmasından dolayı hacimsel verimin artmasına neden olur
- Yanma odasına gönderilen yakıtta daha az kayıp olduğu için güç artışına neden olur
- Motorun ilk harekete geçişi daha kolaydır
- Yakıt miktarının ayarı daha kontrollü ve kayıpsız olduğu için yakıt sarfiyatı karbüratörlüye göre oldukça fazladır.
- Sistemin yapısı gereği motorun daha ergonomik bir görüntüde olmasını sağlar.
- Motorun yük değişimlerine daha kolay karşılık verir.
- Motorun silindirleri arası uniform bir yakıt dağıtımını sağlar
- Çalışma esnasında anlık olarak hava/yakıt oranının kontrolü sağlanabildiğinden, yanma sonu ortaya çıkan zararlı egzoz emisyon gazlarını azaltır.
- Yakıtın buharlaşması sırası oluşabilecek buzlanma problemini ortadan kaldırır.

- Yakıtın püskürtülerek gönderilmesi daha homojen bir karışım oluşmasını sağlar. Ayrıca, uçuculuğu daha düşük yakıt kullanımına olanak sağlar [10].

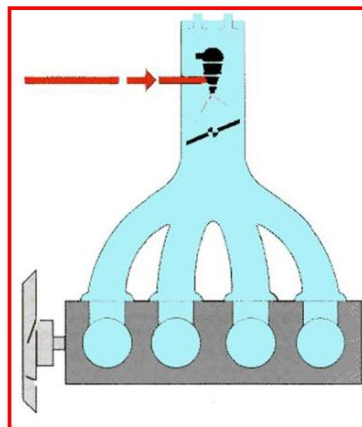
Yakıt enjeksiyon sistemleri temelde direkt (silindire) püskürtme ve endirekt püskürtme olarak iki ana gruba ayrılır. Endirekt püskürtmeli sistemler ise kendi arasında tek nokta ve çok noktalı (multiple point injection-MPI) yakıt enjeksiyon sistemi olarak ikiye ayrılır. Aşağıda yakıtın püskürtülme şekillerini temsil eden resimsel anlatım gösterilmiştir, Şekil 2.



Şekil 2 Yakıt enjeksiyon sistemi püskürtmeye göre çeşitleri

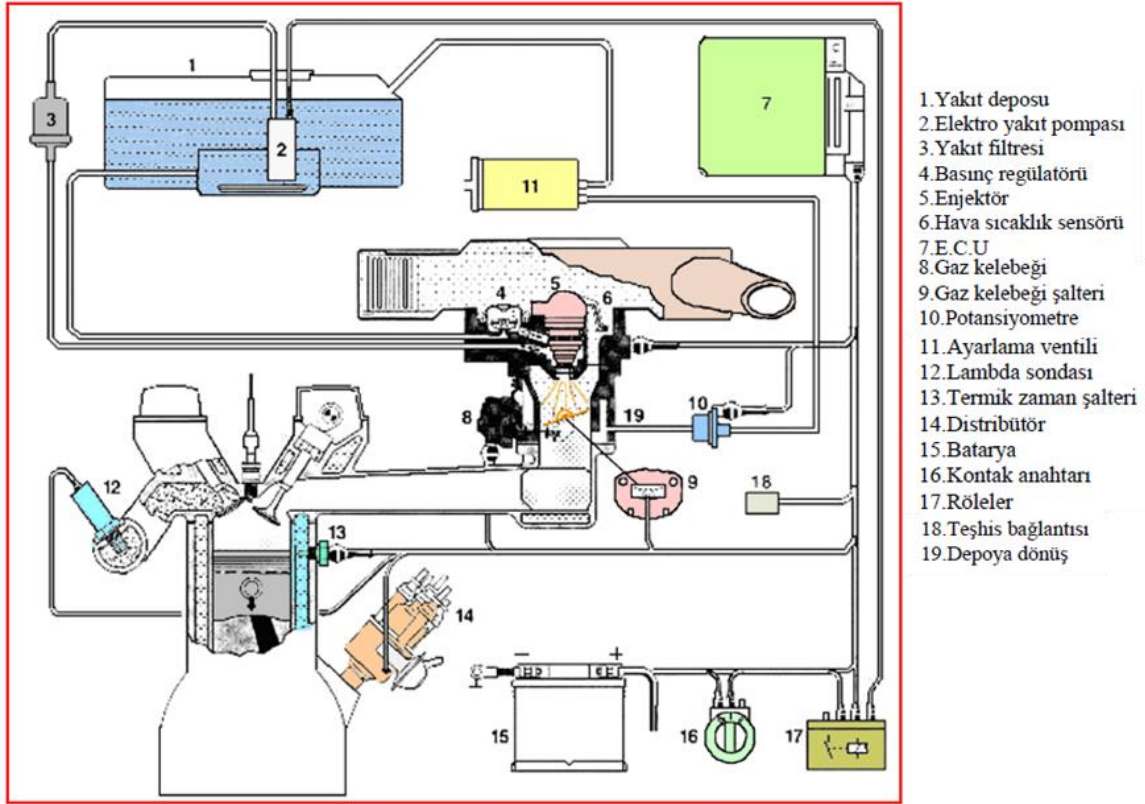
2.1.2.1. Tek noktalı yakıt enjeksiyon sistemleri

Yakıt enjeksiyon sisteminin gelişim sürecinde, ilk olarak manifold sisteminden karbüratör kaldırılarak onun yerine tek bir tane enjeksiyon konulmuş ve yakıt sürekli olarak püskürtülmüştür. Tek nokta yakıt enjeksiyon denen bu sistemin şematik şekli aşağıdaki gibidir, Şekil 3 [11].



Şekil 3 Tek nokta yakıt enjeksiyon sistemi

Tek nokta yakıt enjeksiyon sisteminin elektronik kontrolü Şekil 4’de şematik şekli verilen Mono-jetronik sistem ile kontrol edilmektedir.

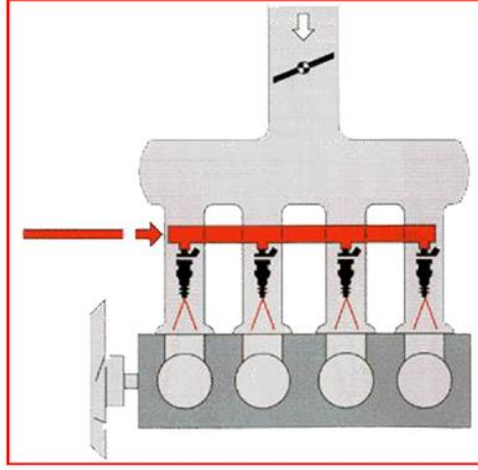


Şekil 4 Mono-jetronik tek nokta yakıt enjeksiyon sistemi genel görünümü

Bu sistemde tek noktaya yerleştirilmiş enjektörün açık kalma süresi elektronik kontrol ünitesi (ECU) ile ayarlanarak yakıt/hava karışımı ayarlanmaktadır. ECU motorun hızına, içeri alınan hava miktarına, ateşleme bilgisine, gaz kelebeğinin konumuna göre gelen bilgileri ECU hafızasındaki önceden girilmiş bilgilerle kıyaslayarak enjektörün açılma anı ve süresini ayarlamaktadır.

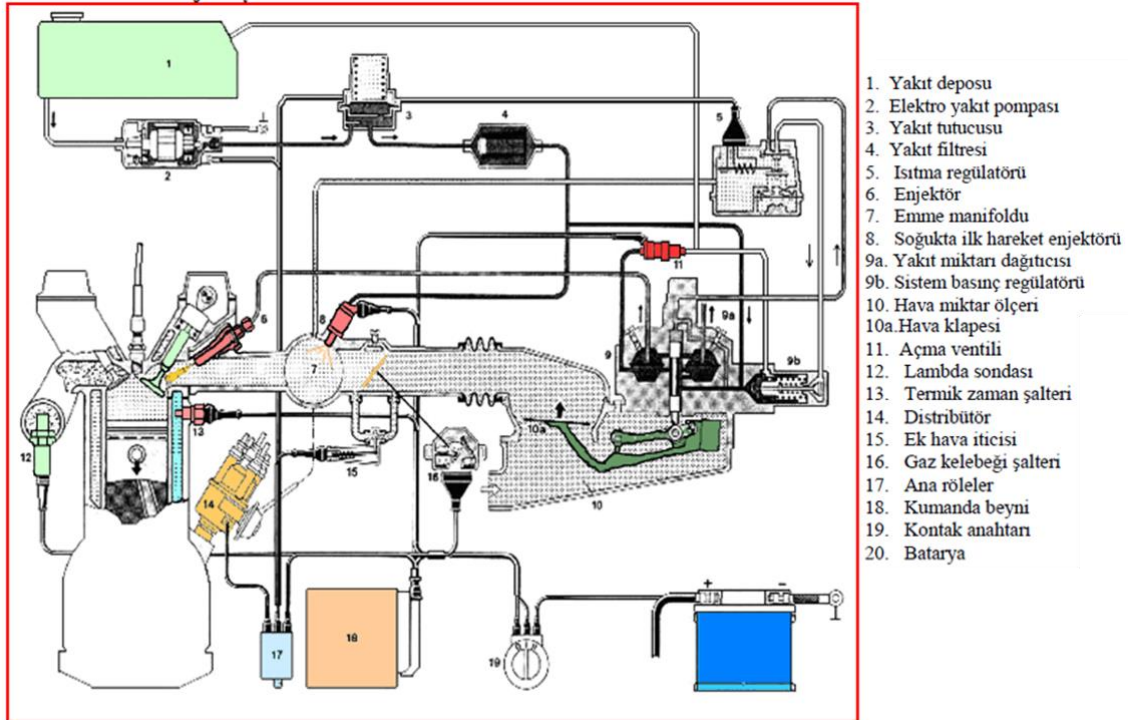
2.1.2.2. Çok noktalı yakıt enjeksiyon sistemleri

Buji ateşlemeli motorlarda hava içerisine benzinin her bir silindire ayrı ayrı gönderilen sistemdir. Bu işlemin yapılışı genellikle elektronik bir kontrol ünitesi ile gerçekleşmektedir. Püskürtme şekli ve ayarlanmasına göre farklı sistemler geliştirilmiştir. Çok noktalı yakıt enjeksiyon sisteminin şematik şekli, Şekil 5’de gösterilmiştir [11] .



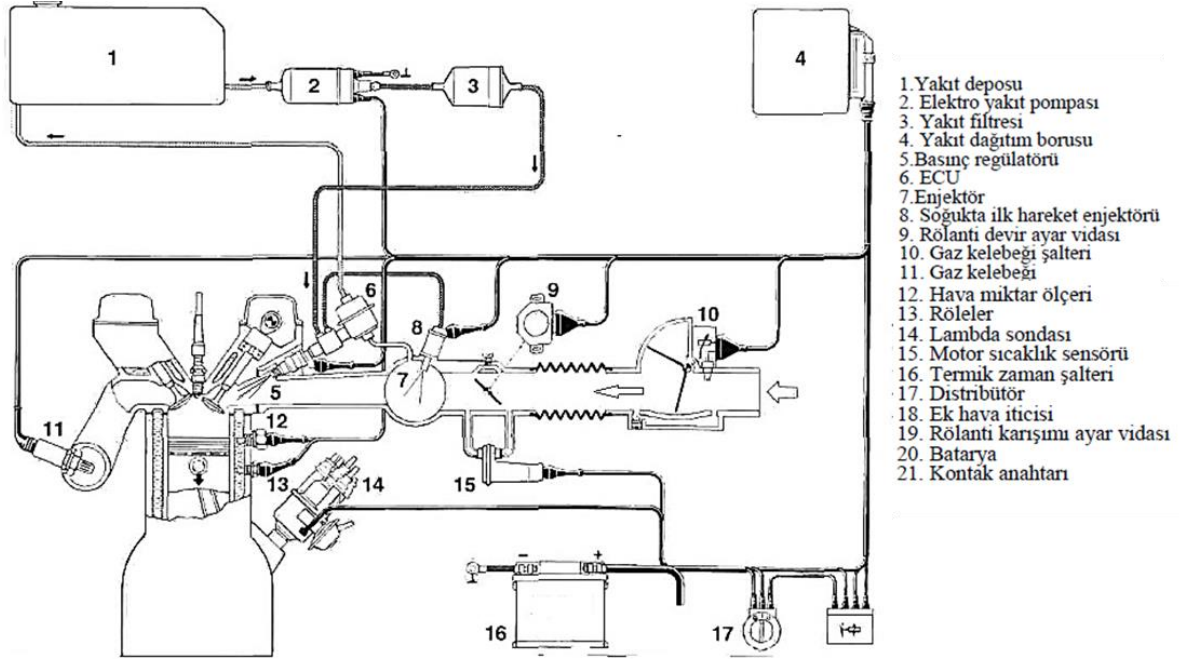
Şekil 5 Çok nokta yakıt enjeksiyon sistemi

Bu enjeksiyon sisteminde yakıt, her bir silindirin emme supabı arkasına püskürtüldüğü için karışım oranları bütün silindirlerde eşittir. Çok noktalı yakıt enjeksiyon sistemi geliştirilen bazı elektronik kontrol sistemleri birlikte kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi Boch firması tarafından geliştirilen K-Jetronik adı verilen sistemdir, Şekil 6.



Şekil 6 K-Jetronik sistemin şematik diyagramı

Bu sistem sürekli püskürtme şeklinde çalışan mekanik kumandalı bir sistemdir. Motor çalıştığı sürece emme supabı arkasına sürekli yakıt püskürtülür. Püskürtülen yakıtın miktarı motora emilen hava debisine göre belirlenir ve ECU tarafından ayarlanır [9, 10]. Aynı firma tarafından üretilen diğer sistem ise L-Jetronik yakıt püskürtme sistemidir, Şekil 7.



Şekil 7 L-Jetronik sistemin şematik diyagramı

L-Jetronik sistemde yakıt yaklaşık 2,5-3 bar basınçta her bir silindirin emme supabı arkasına aralıklı olarak püskürtülmektedir. Sistem yakıt/hava oranının ECU tarafından ayarlanmaktadır. Motora gönderilen yakıt miktarı, ECU'ya gelen hava miktarı, oksijen oranı, sıcaklık değeri gibi bilgileri derleyerek enjektörün selenoidi aracılığıyla açık kalma süresi belirlenerek ayarlanmaktadır. Ayrıca, her bir silindir için ayrı ayrı belirlenmektedir [10].

2.2. Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)

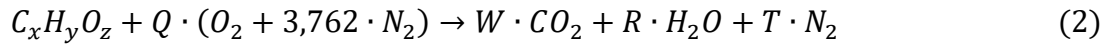
Motorlarda silindirler içerisine alınan teorik Hava/Yakıt $(H/Y)_t$ değeri ile gerçek $(H/Y)_g$ değerinin oranına HFK adı verilir. Buji ateşlemeli motorlarda HFK değeri motor performansı ve egzoz emisyonu açısından oldukça önemli bir parametrelerdir. Yakıtın yanması sonucu egzozdan atılan gazların miktarı ve niteliğini belirler [12]. Yakıt enjeksiyon sistemlerinin en önemli görevi HFK değerinin 1 (bir) olarak tutulmasını sağlamaktır. Bu oranının bir olması için gerekli olan H/Y karışımına stokiometrik H/Y oranı adı verilmektedir ve yakıtların

teorik yanma denklemlerinden hesaplanmaktadır. Bir motorda teorik kütleli hava debisi $\dot{m}_{h_{teorik}}$ aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\dot{m}_{h_{teorik}} = \frac{V_h \cdot \rho_{hava} \cdot n}{2} \text{ (kg/s)} \quad (1)$$

Burada, V_h : Kurs hacmini (m^3), ρ_{hava} : havanın yoğunluğu (kg/m^3), ve n : motor hızını (d/d) ifade eder.

Benzin, etanol ve isobütanol ($C_4H_{10}O$) yakıtlarının stokiyometrik karışımlarının kimyasal yanma analizini aşağıdaki formül ile bulmak mümkündür. Tam yanma denklemine göre;



Yanma işlemine giren ve çıkan C, H, O ve N ürünlerinin atom sayıları eşitlemek için yapılan işlemler sonrası oluşan Q, W, R ve T katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

Karbon dengesinden;

$$W = x \quad (3)$$

Hidrojen dengesinden;

$$R = \frac{y}{2} \quad (4)$$

Azot dengesinden;

$$T = 3,762 \cdot 2 \cdot Q \quad (5)$$

Oksijen dengesinden;

$$Q = \frac{2 \cdot W + R - z}{2} \quad (6)$$

Örneğin, etanol (C_2H_5OH) yakıtının tam yanma denklemi, yukarıda verilen bağıntıya göre çıkarıldığında; Etanolün C sayısı ($x = 2$), H sayısı ($y = 6$) ve O sayısı ($z = 1$) olduğu görülmektedir. Formüle göre çıkan katsayılar;

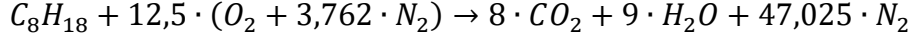
$$W = x \rightarrow W = 2, \quad R = \frac{y}{2} = \frac{6}{2} \rightarrow R = 3$$

$$T = 3,762 \cdot \left(x + \frac{y}{4} - z\right) = 3,762 \cdot \left(2 + \frac{6}{4} - \frac{1}{2}\right) \rightarrow T = 11,286$$

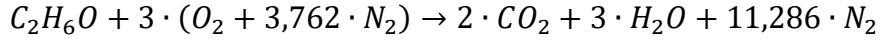
$$Q = \frac{2 \cdot W + R - z}{2} = \frac{2 \cdot 2 + 3 - 1}{2} \rightarrow Q = 3$$

olarak hesaplanmıştır. Buna göre diğer yakıt türleri için de aynı işlemler yapıldığında oluşan tam yanma denklemleri;

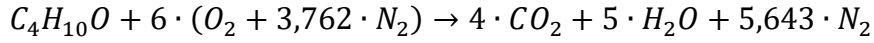
Benzin için;



Etanol için;



İsobütanol için;



Bunlara göre teorik Hava/yakıt (H/Y_{teorik}) oranları ise molar ağırlıklara hesaplanır;

$$H/Y_{teorik} = \frac{M_{Q \cdot (O_2 + 3,762 \cdot N_2)}}{M_{C_xH_yO_z}} \quad (7)$$

Örneğin, isobütanol ($C_4H_{10}O$) yakıtının tam yanma denkleminde C atomunun mol ağırlığını (12 g/mol), H atomunun mol ağırlığını (1 g/mol), O atomunun mol ağırlığını (16 g/mol) ve N atomunun mol ağırlığını (14 g/mol) alınıp, yukarıda verilen bağıntıya göre çıkarıldığında H/Y_{teorik} oranı;

$$H/Y_{teorik} = \frac{M_{6 \cdot (O_2 + 3,762 \cdot N_2)}}{M_{C_4H_{10}O}} = \frac{6 \cdot (2 \cdot 16 + 3,762 \cdot 2 \cdot 14)}{4 \cdot 12 + 10 \cdot 1 + 1 \cdot 16} = \frac{11,13}{1} \text{ olarak bulunur.}$$

Benzer işlem benzin ve etanol için uygulandığında benzinin H/Y oranı 14,64/1, etanolün H/Y_{teorik} oranının ise 6,54/1 olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler yakıtların stokiyometrik H/Y_{teorik} oranlarıdır. HFK'nın 1 olması motorun çalışma esnasında stokiyometrik Hava/Yakıt oranını yakaladığını gösterir. HFK değer;

$$HFK = \frac{H/Y_{gerçek}}{H/Y_{teorik}} \quad (8)$$

ile hesaplanır.

Karışım yakıtlarında H/Y_{teorik} oranını aşağıdaki bağıntılardan bulunan katsayılar ile

hesaplamak mümkündür.

$$(A \cdot C_r H_t + B \cdot C_x H_y O_z) + Q \cdot (O_2 + 3,762 \cdot N_2) \rightarrow W \cdot CO_2 + R \cdot H_2O + T \cdot N_2 \quad (9)$$

Burada A ve B karışım oranlarını ifade etmektedir. Örneğin karışım yakıtı içerisinde %20 isobütanol olsun o durumda B = 0,20 olurken, A değeri 0,80 yazılarak işlem yapılır.

Karbon dengesinden;

$$W = A \cdot r + B \cdot x \quad (10)$$

Hidrojen dengesinden;

$$R = \frac{A \cdot t + B \cdot y}{2} \quad (11)$$

Azot dengesinden;

$$T = 3,762 \cdot 2 \cdot Q \quad (12)$$

Oksijen dengesinden;

$$Q = \frac{2 \cdot W + R - B \cdot z}{2} \quad (13)$$

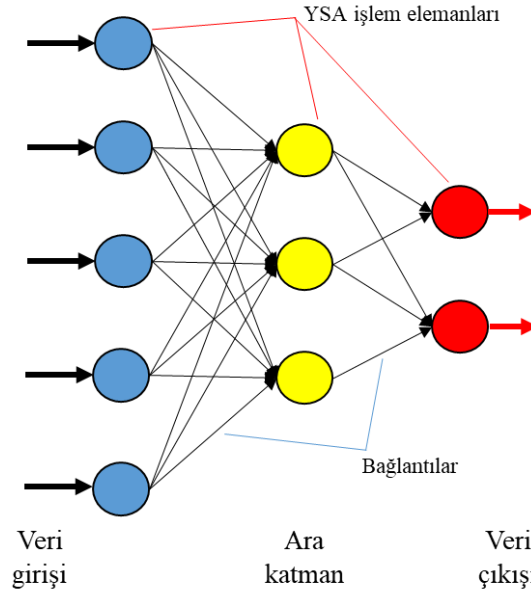
Yapılan deneysel sistemde, denklemdaki B değeri dışarıdan manuel olarak girilecek şekilde tasarlanmıştır. Motorda herhangi bir karışım oranı kullanıldığı zaman, bu oranlar girildiğinde elektronik kontrol ünitesi (ECU) tarafından denklem 10-13 le bulunan katsayıları denklem 7’de kullanarak H/Y_{teorik} değeri bulunmaktadır. Ayrıca, bu değer aşağıdaki denklemde belirtilen HFK değerinde dışarıdan manuel olarak girildikten sonra ECU tarafından tekrardan hesaplanacaktır.

$$(A \cdot C_r H_t + B \cdot C_x H_y O_z) + HFK \cdot Q \cdot (O_2 + 3,762 \cdot N_2) \rightarrow W \cdot CO_2 + R \cdot H_2O + T \cdot N_2 \quad (14)$$

2.3. Yapay Sinir Ağı (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA) insan beynindeki sinir hücrelerinin çalışma yapısını örnek alarak geliştirilmiş öğrenme yeteneğine sahip bilgisayar sistemleridir. Sistem mevcut verileri kullanarak olayları öğrenebilen ve daha sonra gelen herhangi bir veride nasıl tepkiler üreteceğini belirleyen mekanizmalara sahiptir YSA’lar, öğrenme, ilişkilendirme,

sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme ve optimizasyon gibi konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır [13]. Şekil 8’de örnek bir YSA örgüsü verilmiştir.



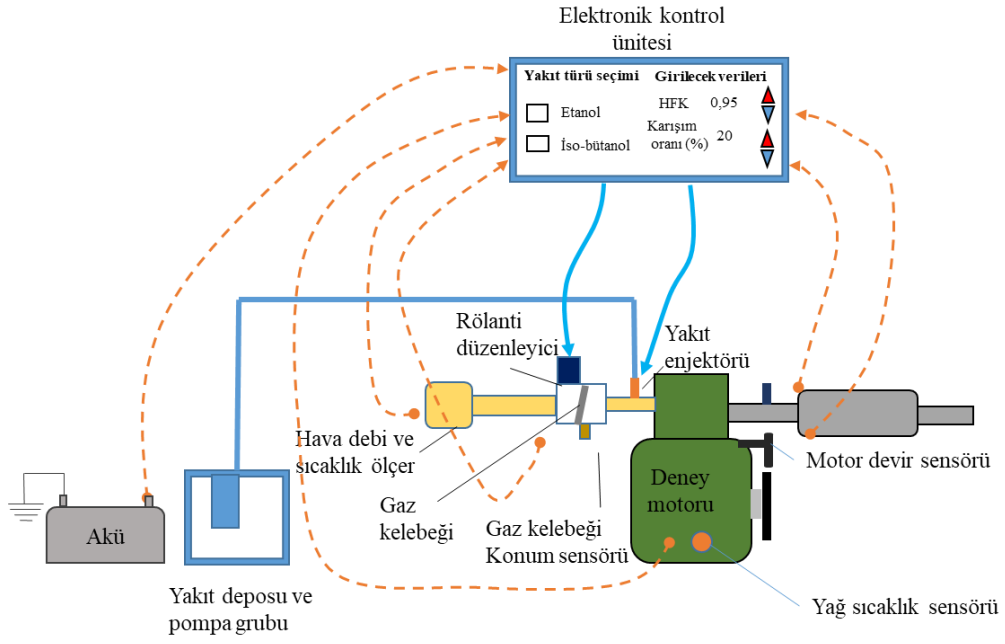
Şekil 8 Örnek bir yapay sinir ağı

YSA’nın en temel görevi sisteme giren veri girişine karşılık gelebilecek bir çıktı verisi belirlemektir. Ağı oluşturan işlem elemanları, bunların bilgileri işleme yetenekleri ve birbirleri ile bağlantılarının şekillere sistemlere göre değişiklik gösterebilir. Şekilde de görüldüğü gibi bir YSA’nın temel olarak veri girişi, ara katman ve veri çıkışından oluşmaktadır. Veri girişindeki katmanlar dışarıdan bilgileri alarak ara katmana iletmekle sorumludur. Ara katman veri girişindeki bilgileri işleyerek çıktı katmanına gönderir. Bir ağ için birden fazla ara katman olabilir. Veri çıkışındaki katmanlar ise ara katmanda kendisine gönderilen veriyi dışarıya iletir [13].

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Projede Kullanılan Gereçler

Projede, tek silindirli bir motorun yakıt sistemi, kullanılan elektronik gereçler ve mekanik aksamalar ile enjeksiyonlu yakıt sistemine dönüştürülmüştür. Ayrıca, sistemde yüksek saflıkta etanol ve isobütanol yakıt olarak kullanılmıştır. Proje kurulan sistemin şematik şekli Şekil 9’da görülmektedir.



Şekil 9 Kurulan sistemin şematik şekli

Projede kullanılan gereçler hakkında detaylı bilgiler bu bölümde başlıklar halinde sunulmuştur.

3.1.1. Deney motoru

Projede tek silindirli buji ateşlemeli bir motor kullanılmıştır. Motor 390 cc silindir hacminde, hava soğutmalı ve 13 HP güce sahiptir, Şekil 10. Motora ait teknik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 10 Yakıt sistemi dönüştürülen deney motoru

Tablo 1 Motorun teknik özellikleri

Özellikler	
Motor tipi	Hava soğutmalı, 4-zamanlı, tek silindirli, marş motorlu
Silindir çapı (mm) x kurs (mm)	88 x 64
Motor hacmi (cc)	389
Sıkıştırma oranı	8:1
Maksimum motor gücü (kW)	9,7 (3600 d/d)
Maksimum motor torku (Nm)	26,5 (2500 d/d)
Ateşleme sistemi	Manyetolu
Yağlama sistemi	Çarpma ile yağlama
Yağ kapasitesi (litre)	1,1
Motor ağırlığı (kg)	33
Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)	308,46

3.1.2. Yakıt enjektörü ve pompası

Deneyisel düzende, 6 bar çalışma basıncına bağlı yakıt pompası kullanılmıştır. Yakıt pompası doğrudan yakıt deposu içerisinde çalışma özelliğine sahiptir. Ayrıca, 1,6 litre motor hacmine sahip bir motorun yakıt enjektörü kullanılmıştır, Şekil 11.



Şekil 11 Yakıt pompası ve enjektörü

Deneysel çalışmada tercih edilen enjektör selenoid tip olup, enjektörün açılması ECU tarafından gönderilen elektrik sinyali ile kontrol edilmektedir. Enjektör iğnesi, etrafında bulunan bobin sargılarına gönderilen elektrik akımı ile oluşan manyetik kuvvetin etkisi ile iğnenin arkasındaki yayın gerilim kuvvetini yenerek yakıt kanalını açmaktadır. Gönderilen gerilim kesildiğinde yay enjektör iğnesini kapatarak yakıt akışı kesilmektedir. Bu bağlamda, enjektörün püskürttüğü debi miktarını belirleyebilmek için öncü deneyler yapılmıştır. Özellikle akü gerilimine bağlı olan enjektör açılmasında, akünün gerilim değerindeki dalgalanmadan kaynaklanacak gecikmelerin yakıt debisine etki etmemesi için bir takım deneyler yapılmıştır.

Farklı gerilim değerlerinde belirli açık kalma süreleri belirlenerek püskürtülen yakıt miktarları ölçülmüştür. Bu deneyler sonucunda enjektörün on beş mili saniyede açık kaldığı zamandaki ortalama yakıt debisi belirlenmiştir. Daha sonra toplam yakıt miktarı ile bir mili saniyedeki değere bölünerek, enjektörün gerçek açık kalma süresi hesaplanmıştır.

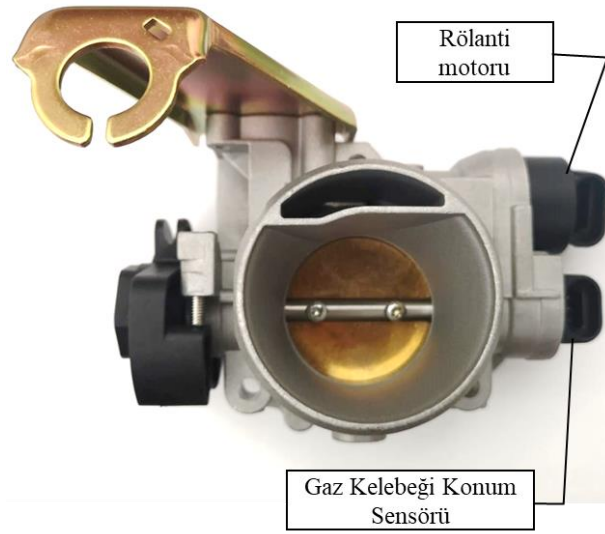
Bu şekilde yapılan işlemlerle deneyde kullanılan enjektöre ait batarya gerilimi- açık kalma süresi eğrisi elde edilmiş ve eğriden nümerik yöntemlerle ampirik formül elde edilmiştir. Elde edilen ampirik formül aşağıdaki gibidir.

$$t_g = 174,25 \cdot V^{-1,327} \quad (15)$$

Burada; t_g : püskürtme gecikmesini (ms); V : akü gerilimini (V) ifade etmektedir.

3.1.3. Gaz kelebeği

Deneysel düzenekte kullanılan ve üzerinde gaz kelebeği konum sensörü ile rölanti ayarlama motor ve bağlantıları bulunan gaz kelebeği Şekil 12’de gösterilmiştir. 1,6 litre motor hacmine göre üretilmiş hazır gaz kelebeği sistemde kullanılmıştır. Gaz kelebeği konum sensörü bilgileri ECU’ya gönderilerek motorun çalışma esnasındaki anlık hava debisinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Gaz kelebeğinin konum sensörü, sensör tarafından açıklık oranına göre üretilen gerilim değeri ile belirlenmektedir.



Şekil 12 Gaz kelebeğinin genel görünümü

Gaz kelebeğinin yüzdesel açıklık oranı (GKAO) aşağıdaki bağıntı ile belirlenmektedir [14].

$$GKAO = \frac{V_s - 0,525}{3,848} \cdot 100 \quad (16)$$

Burada V_s sensör çıkış gerilimi (V), $GKAO$ gaz kelebeği açıklık oranını (%) ifade etmektedir.

3.1.4. Yakıtlar

Deneylerde benzin, etanol ve isobütanol kullanılmıştır. Kullanılan alkol yakıtlardan etanol ISOLAB firmasından, isobütanol ise MERC firmasından tedarik edilmiş olup bazı fiziki ve kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 Yakıtların bazı fiziki ve kimyasal özellikleri [15-17]

Özellik	Benzin	Etanol	İsobütanol
Kimyasal denklemi	-	C_2H_5O	$C_4H_{10}O$
Mol ağırlığı (g/mol)	9,5-120	46,07	74,12
Yoğunluk (g/cm ³)	0,72-0,76	0,79	0,789
Kaynama noktası (°C)	27-225	78,3	81-83
Safılık (%)	-	≥99,9	≥98,5
Buhar basıncı kPa (20°C’de)	45-90	5,9	4,1
Alt ısıt değeri (kJ/kg)	40000-44300	26900 ^[17]	33000 ^[18]

3.1.5. Manifold mutlak basınç sensörü (MAP)

Sistemde kullanılan MAP sensörünün görüntüsü Şekil 13’de verilmiştir. Mutlak basınç sensörü, taşıtlarda motorun yükünün algılanmasında kullanılan sensörlerden biridir. Bu sensör, emme manifoldundaki vakum miktarını algılayarak bir sinyal üretir. ECU tarafından bu bilgiler kullanılarak ateşleme avansı ve yakıt miktarını ayarlamak için kullanılmaktadır [19].

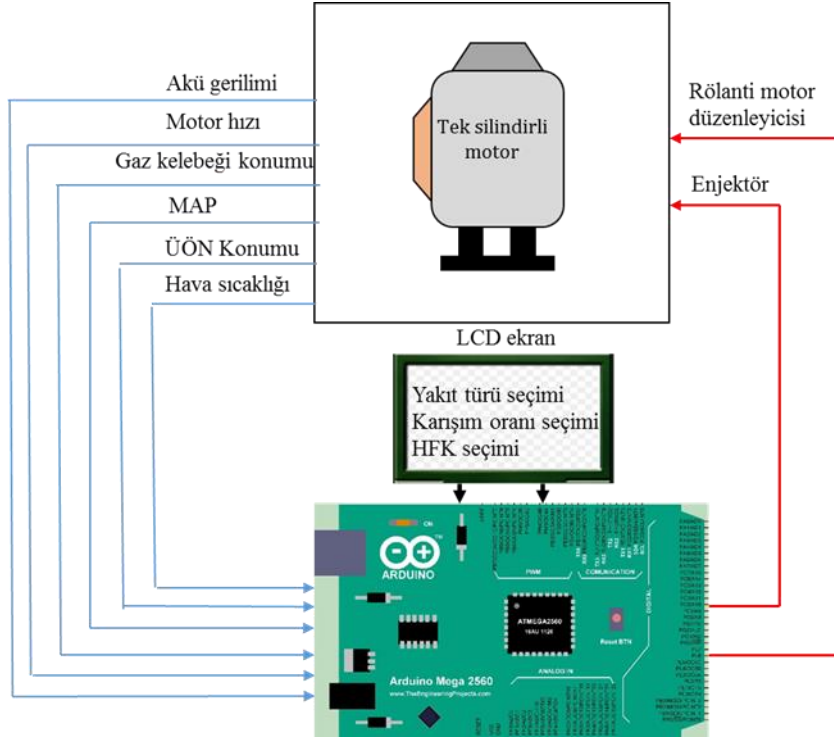


Şekil 13 MAP sensörü genel görünümü

Yapılan öncü deneylerle MAP’ın çalışması kontrol edilmiştir. Ancak özellikle düşük motor hızlarında yapılan gerilim ölçümlerinde sağlıklı gerilim değerleri elde edilememiştir. Alınan MAP sensörü çok silindirli motorlar için üretilmiştir. Bu durum literatürde [14] araştırıldığında benzer sıkıntıların yaşandığı görülmüştür. Bu nedenle sistemde kullanılan MAP sensörü sadece havanın basınç değerinin ölçülmesinde kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

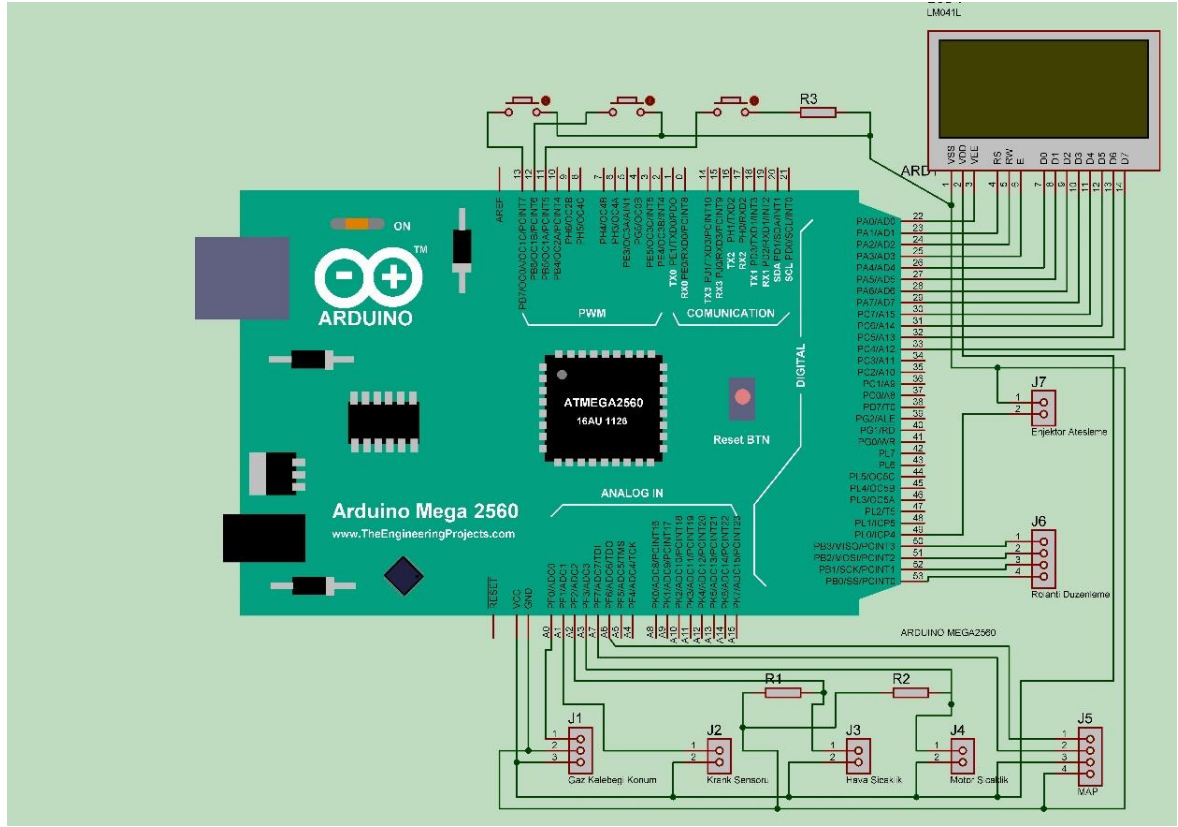
Tek silindirli bir motorun karbüratörlü yakıt sistemini enjeksiyonlu yakıt sistemine dönüştürülmesinde izlenen işlem şeması Şekil 14’de verilmiştir. Öncelikle motorun mevcut karbüratörü yerinden sökülmüş ve o kısma üzerinde gaz kelebeği, hava akış ölçer ve enjektör bağlantılarının yapılabileceği bir manifold sistemi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Enjektör, motorun emme portunun hemen arkasına gelecek şekilde gaz kelebeğinden sonra montajı yapılmıştır. Yakıt deposu içerisine yerleştirilen 6 bar’lık basınç üretebilen pompa çıkışında boru üzerine basınç regülatörü yerleştirilmiş ve pompanın çalışması kontrol altına alınmıştır.



Şekil 14 Kurulan sistemin akış şeması

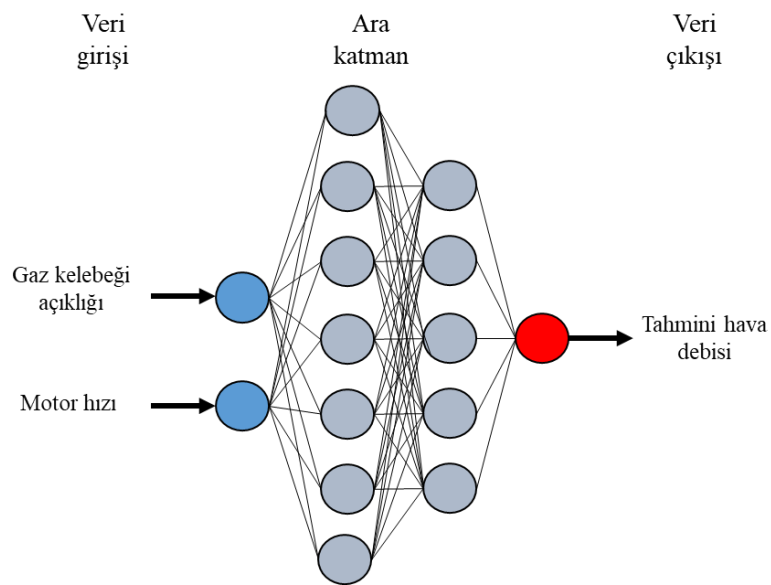
Motorun hızı, krank mili çıkışına yerleştirilmiş encoder ile belirlenmiştir. Motorun üst ölü nokta (ÜÖN) bilgisi ise krank mili çıkışına takıla bir tetikleyici kask ve konum sensörü ile tespit edilmiştir. Sensörlerden gelen bilgileri tasarlanan elektronik kontrol ünitesinde değerlendirilmiştir. Gelen bilgiler ECU'daki işlemciye ulaştırılarak algoritmalar ile değerlendirilip çıkış akımı oluşturmaktadır. Tasarlanan elektronik devre kartının şeması Şekil 15'de verilmiştir.

Tasarlanan sistemden çıkan akım ile motorun rölanti düzenleyicisini ve enjektör açık alma süresi kontrol edilmiştir. Bu işlem, motor üzerindeki sensörlerden alınan motor hızı, gaz kelebeği konumu, sıcaklık değerleri gibi verileri kullanarak, motora gönderilecek yakıt miktarını ayarlayabilmek için kurulan YSA algoritmaya göre enjektörün açık kalma süresini kontrol edilmiştir. Kurulan YSA ağı Şekil 16'da verilmiştir. Projede motor yakıtı olarak, benzin, etanol ve isobütanol kullanılmıştır. Ayrıca, etanol ve isobütanol hacimsel olarak üç farklı oranda (%25, %50 ve %75) benzin ile karışım oluşturularak kullanılması planlanmıştır. Elektronik kontrol ünitesinde kullanılacak olan LCD ekran üzerinden dokunmatik olarak yakıt türü seçilebilecek ve istenilen HFK değeri hassas olarak ayarlanabilecektir.



Şekil 15 Elektronik baskı devre kartı tasarımı

Ayrıca, karışım oranı girilecek şekilde tasarlanmıştır. Kurulan YSA modeline, sensörlerden gelen motor hız ve gaz kelebeği konum sensörleri kullanılarak çalışma esnasında motora emilen hava debisi tahmin edilmektedir.



Şekil 16 Kurulan YSA modeli

Bu hava debisine göre LCD ekrandan seçilen yakıt türü ve karışım oranı ile arzu edilen HFK oranını sağlayabilmek için gerekli olan yakıt miktarı belirlenmektedir. Bunun için denklem 1-14 arasında verilen işlemler ECU tarafından yapılarak bulunmaktadır. Buna göre yakıt enjektörü konusunda anlatılan hususlar göz önünde bulundurularak enjektörün açık kalma süresi ECU tarafından kontrol edilmektedir. YSA'nın eğitilmesi için deneysel verilerin %90'ı kullanılmış, kalan %10'luk veri ise modelin testinde kullanılmıştır. YSA'da ara katmanlar en iyi sonucu verecek şekilde optimize edilmektedir. Bu çalışmada çift kademeli ara katman seçilmiş ve nöron sayısı birinci katmanda yedi, ikinci katmanda beş olarak alınmıştır. Modelin testi sonucunda R^2 değeri 0,998 olarak çıkmıştır.

4. BULGULAR

Elektronik kontrol ünitesi ve motor bir birleşik sistem haline getirildikten sonra, kullanılacak olan yakıtların egzoz emisyon değerleri hizmet alım yoluyla ölçülmesi planlanmıştı. Ancak, alkol yakıtların kullanımının emisyon cihazına zarar vereceği düşüncesiyle ilgili firma sahibi tarafından ölçül yapılması uygun görülemedi. Bu nedenle yüksüz olarak düşük (1500 d/d) ve yüksek devirlerde (3000 d/d) sadece benzin ile çalıştırılan motorun egzoz emisyonları beş farklı HFK oranlarında ölçülerek bu bölümde grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca, benzin, etanol ve isobütanolun farklı HFK değerlerinde gerçekleşen kütleli hava ve yakıt debileri tablolar halinde sunulmuştur.

Projede yapılan yakıt sistemi motora uyarlanarak benzin yakıtı ile çalıştırılmıştır. Çalışma esnasında sensörlerden gelen bilgilere göre işlem yapan ECU tarafından Tablo 3'deki gibi veriler elde edilmiştir. Örneğin 1500 d/d motor hızında yapılan deneylerde sistemden HFK 0,9 olarak ayarlama yapılmış ve ölçülen diğer verilere göre gerçekleşen gerçek HFK değeri bulunmuştur. Sonuçlara göre sistemin başarılı olarak istenilen HFK değerini sağladığı tespit edilmiştir. Ancak, motor devri ani olarak artırıldığında ihtiyaca göre yakıt temini konusunda sistemin yetişemediği gözlemlenmiştir. Belirli bir süre geçtiğinde sistem kendini toparlayıp istenilen motor hızına ulaşmıştır. Bunun sebebinin sistemde kullanılan işlemcinin hızından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, sistemde yükün belirlenmesi amacıyla kullanılan MAP sensörünün tek silindirli bir motor için istenilen hassasiyette çalışmadığı öngörülmektedir.

Tablo 3 Tasarlanan elektronik kontrol ünitesinde benzin yakıtlı çalışmada elde edilen bazı değerler

Motor hızı (d/d)	1500					3000				
	0,8	0,9	1	1,1	1,2	0,8	0,9	1	1,1	1,2
HFK										
Teorik hava tüketimi (g/s)	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	10,93	10,93	10,93	10,93	10,93
Yakıt tüketimi (g/s)	0,37	0,33	0,30	0,27	0,25	0,73	0,65	0,59	0,54	0,49
Gerçek hava tüketimi (g/s)	4,30	4,32	4,32	4,32	4,34	8,54	8,57	8,58	8,60	8,62
Teorik H/Y oranı	14,60	14,60	14,60	14,60	14,60	14,60	14,60	14,60	14,60	14,60
Gerçek H/Y oranı	11,68	13,14	14,60	16,06	17,52	11,69	13,15	14,61	16,05	17,51
Gerçekleşen HFK oranı	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20

Sistemin alternatif yakıtlardaki çalışmasını test etmek için etanol ve isobütanol ayrı ayrı kullanılmış ve her iki motor hızında beş farklı HFK değeri için denemeler yapılmıştır. Sistemin bu deneylerde de başarılı olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4 ve Tablo 5’de özetlenmiştir.

Tablo 4 Tasarlanan elektronik kontrol ünitesinde etanol yakıtlı çalışmada elde edilen bazı değerler

Motor hızı (d/d)	1500					3000				
	0,8	0,9	1	1,1	1,2	0,8	0,9	1	1,1	1,2
HFK										
Teorik hava tüketimi (g/s)	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	10,93	10,93	10,93	10,93	10,93
Yakıt tüketimi (g/s)	0,61	0,54	0,48	0,44	0,41	1,19	1,06	0,96	0,87	0,80
Gerçek hava tüketimi (g/s)	4,36	4,36	4,36	4,37	4,37	8,59	8,60	8,60	8,60	8,62
Teorik H/Y oranı	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
Gerçek H/Y oranı	7,21	8,11	9,02	9,91	10,80	7,20	8,10	9,00	9,90	10,80
Gerçekleşen HFK oranı	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20

Tablo 5 Tasarlanan elektronik kontrol ünitesinde isobütanol yakıtlı çalışmada elde edilen bazı değerler

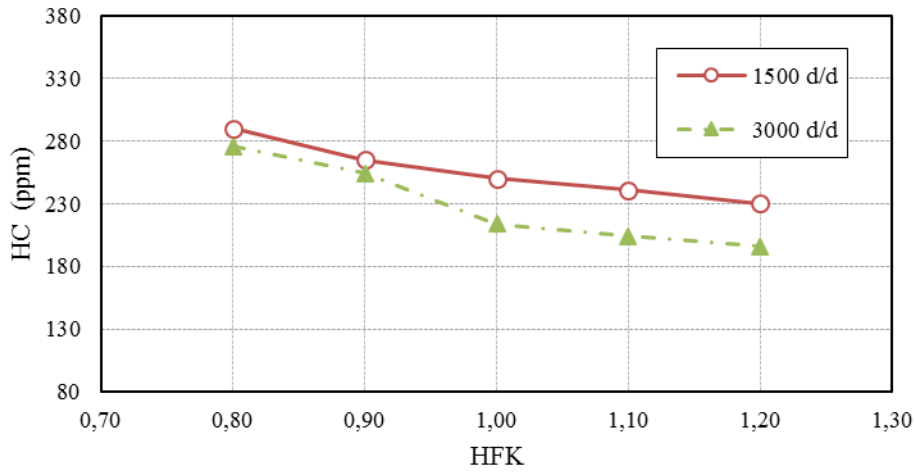
Motor hızı (d/d)	1500					3000				
	0,8	0,9	1	1,1	1,2	0,8	0,9	1	1,1	1,2
HFK										
Teorik hava tüketimi (g/s)	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	10,93	10,93	10,93	10,93	10,93
Yakıt tüketimi (g/s)	0,49	0,44	0,39	0,36	0,33	0,97	0,86	0,77	0,70	0,65
Gerçek hava tüketimi (g/s)	4,36	4,36	4,36	4,37	4,37	8,59	8,60	8,60	8,60	8,62
Teorik H/Y oranı	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13
Gerçek H/Y oranı	8,91	10,02	11,13	12,25	13,36	8,90	10,01	11,13	12,24	13,35
Gerçekleşen HFK oranı	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20

Alternatif yakıtlı çalışmada da motor, yapılan yeni yakıt sistemi ile istenilen HFK değerlerinde başarılı ve hassas bir şekilde çalışmıştır. Ayrıca, sistem karışım yakıtları ilede test edilmiş ve benzer sonuçların alınmıştır. Sonuç olarak, tasarlanan bu sistemde görülen ufak aksaklıklar çözüme ulaştırılarak alternatif yakıt kullanımına yönelik deneylerde

kullanılabilir. Sistemin elektronik kontrollü olması daha hassas deneylerin alınmasına olanak tanımaktadır.

Bir özel firma tarafından tadarik edilen egzoz emisyon ölçüm cihazı ile sadece benzin yakıtlı çalışmada elde edilen hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) emisyon değerleri ölçülmüştür.

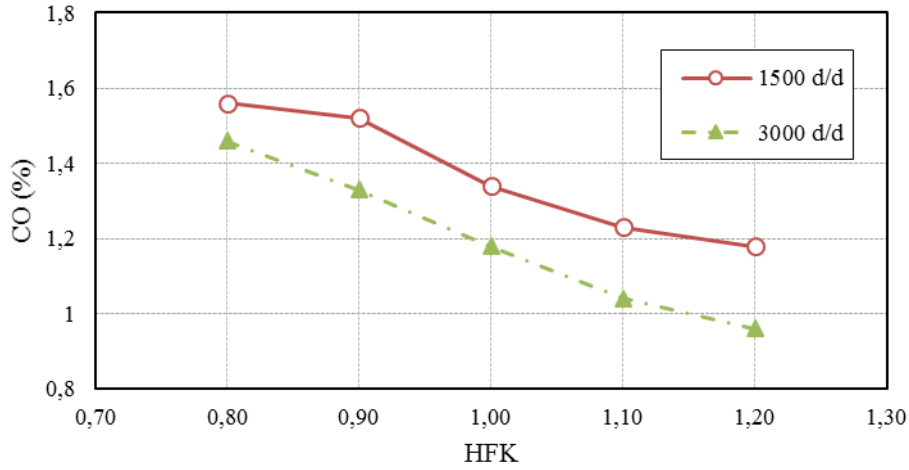
Motorlarda silindir içerisine alınan yakıtın herhangi bir nedenle eksik yanması veya tutuşamaması sonucu HC emisyonu oluşmaktadır. Yanma odası içerisine alınan yakıt-hava karışımının homojen olmaması, soğuk cidarlar, piston ile silindir arası boşluklarda yanmanın devam edememesi, sıkıştırma sonu sıcaklığının düşük olması, yanma odasında bulunan ince yağ filminin yakıtı absorbe etmesi, yetersiz oksijen ve yanma odasındaki yüzey/hacim oranının artması gibi etkenler HC emisyonu oluşumuna neden olmaktadır [12, 20, 21]. Benzin ile yapılan çalışmaların, farklı HFK’lardaki HC emisyonunu değişimleri Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17 Farklı HFK değerlerinde benzin ile elde edilen HC emisyon değişimleri

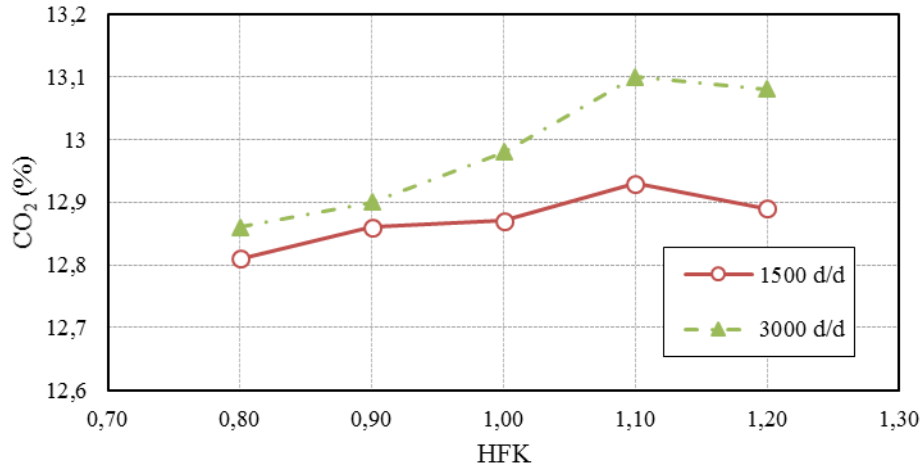
Şekilde de görüldüğü gibi artan HFK değeri ile birlikte her iki motor hızında da HC’nin azaldığı gözlemlenmiştir. Artan HFK silindir içerisindeki oksijen miktarının artmasına neden olduğu için yanma iyileşmekte ve dolayısıyla HC emisyonu düşmektedir. Farklı HFK’larda değişik motor hızlarında elde edilen CO emisyon değişimleri Şekil 18’de gösterilmiştir.

CO emisyonu, yanma odası içerisinde yetersiz oksijen bulunması sonucu yakıt içerisindeki karbon atomlarının tam olarak yanamamasıyla oluşan egzoz emisyon türüdür. CO emisyonu yakıtın kimyasal bileşimindeki karbon atomu sayısı ile ilişkilidir [12, 20].



Şekil 18 Farklı HFK değerlerinde benzin ile elde edilen CO emisyon değişimleri

Şekil 18 incelendiğinde HFK'nın artmasıyla beraber CO emisyonu azalma eğilimi göstermiştir. Eksik yanma sonucu oluşan CO emisyonu artan hava miktarı ile yeterince hava bularak düşmektedir. CO emisyonundaki düşmenin yüksek motor hızında (3000 d/d) daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu duruma artan motor hızının yanma odasındaki türbülansı artırmasıyla karışımın daha homojen oluşmasının neden olduğu düşünülmektedir. Farklı HFK değerlerinde benzin yakıtlı çalışmada ulaşılan CO₂ emisyonu değişimleri Şekil 19'da sunulmuştur.



Şekil 19 Farklı HFK değerlerinde benzin ile elde edilen CO₂ emisyon değişimleri

CO₂, yakıt içerisindeki karbon atomlarının tam olarak yanmasıyla ortaya çıkan egzoz emisyon türüdür. Grafik incelendiğinde 1,1 HFK değerine kadar CO₂ emisyonunun arttığı ve o noktadan sonra tekrar artışa geçtiği gözlemlenmiştir. Her iki motor hızında da tespit edilen bu durumun artan hava miktarına bağlı iyileşen yanmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. HC

emisyön değişimleri ile uyumlu bir değişiklik söz konusudur. Neticede yapılan bu yakıt sistemi ile buji ateşlemeli motorların yakıt ve HFK'ya bağlı motor performansı ve egzoz emisyön değişimleri incelenebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu proje ile gerçekleştirilen enjeksiyonlu yakıt sisteminden alınan sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Tasarlanan yakıt dönüşüm sistemi genel olarak başarılı bir şekilde çalışmıştır. Ancak sistem ani yük artışlarında işlemcinin hızı ve kullanılan sensörlerin büyük hacimli motora göre dizayn edilmesinden dolayı arzu edilen tepkileri verememiştir.
- Farklı yakıt karışımlarında da motorun çalıştırılması sağlanmıştır.
- Özellikle alternatif yakıt çalışan araştırmacılar için oldukça fazla kolaylık sağlayacak bir sistem olduğu tespit edilmiştir.
- Elektronik yakıt enjeksiyon sistemi ile deneyler sırasında daha kararlı HFK değerleri sağlanmış ve egzoz emisyönları daha hassas ölçülebildiği tespit edilmiştir.
- Tasarlanan ECU'da hızı yüksek işlemci kullanılarak sistemin çalışma verimi iyileştirilebilir.
- Sistemin çalışmasında daha fazla verim alabilmek için kurulan modelde yakıtların yakıt film özellikleri dikkate alınmalıdır.
- Sistemde kullanılan MAP sensörü çok silindirli motorlara göre tasarlandığı için, tek silindirli motorlarda kullanılabilecek ve motorun ani yük değişimlerinde görülen düzensizlikleri önleyebilecek yeni tasarımlar yapılabilir veya başka yöntemler uygulanabilir.
- Tasarlana yakıt enjeksiyon modelindeki bir takım aksaklıklar çözüme ulaştırılarak patenti alınıp ticarileştirilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Salman S, Çınar C, Sekmen Y. Buji ile ateşlemeli motorlarda tek nokta yakıt enjeksiyon ve karbüratör sistemlerinin performans etkileri üzerine deneysel bir araştırma. Politeknik Dergisi. 2003;6(1):391-5.
- [2] Lee SH, Howlett RJ, Walters SD. Small engine control by fuzzy logic. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. 2004;15(3, 4):207-17.
- [3] Turner D, Xu H, Cracknell RF, Natarajan V, Chen X. Combustion performance of bio-ethanol at various blend ratios in a gasoline direct injection engine. Fuel. 2011;90(5):1999-2006.
- [4] Yao Y-C, Tsai J-H, Wang IT. Emissions of gaseous pollutant from motorcycle powered by ethanol-gasoline blend. Appl Energ. 2013;102:93-100.
- [5] Chen L, Stone R, Richardson D. A study of mixture preparation and PM emissions using a direct injection engine fuelled with stoichiometric gasoline/ethanol blends. Fuel. 2012;96:120-30.
- [6] Zhuang Y, Hong G. Primary investigation to leveraging effect of using ethanol fuel on reducing gasoline fuel consumption. Fuel. 2013;105:425-31.
- [7] Şahin F. Otomotiv teknolojisi eğitiminde kullanılmak üzere buji ile ateşlemeli bir motor için bilgisayar kontrollü bir yakıt enjeksiyon sisteminin geliştirilmesi [Doktora Tezi]: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [8] Safgönül B, Ergeneman M, Aslan E, Soruşbay C. İçten Yanmalı Motorlar. İstanbul: Birsan Yayınevi, 1999.
- [9] Yardım MH. Motor Teknolojisi. 4. Basım ed. Ankara: Nobel Yayınevi, 2017.
- [10] Borat O, Sürmen A, Balcı M. İçten Yanmalı Motorlar. 1. Cilt ed. Ankara: Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, 1995.
- [11] Çetişli F. Ömrünü tamamlamış lastiklerin pirolizi 2013.
- [12] Ergeneman M, Arslan H, Mutlu M. Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler. İstanbul: Birsan Yayınevi, 1998.
- [13] Öztemel E. Yapay sinir ağları. PapatyaYayincılık, İstanbul. 2012.
- [14] Şahin F. Otomotiv teknolojisi eğitiminde kullanılmak üzere buji ile ateşlemeli bir motor için bilgisayar kontrollü bir yakıt enjeksiyon sisteminin geliştirilmesi: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [15] MERC. Isobutanol yakıt özellikleri; Germany. 2019.
- [16] ISOLAB, Etanol yakıt özellikleri, European Union.
- [17] Balki MK, Sayin C, Canakci M. The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine. Fuel. 2014;115:901-6.
- [18] Sayin C, Balki MK. Effect of compression ratio on the emission, performance and combustion characteristics of a gasoline engine fueled with iso-butanol/gasoline blends. Energy. 2015;82:550-5.
- [19] <https://otomobilteknoloji.blogspot.com>.
- [20] Heywood JB. Internal combustion engine fundamentals: Mcgraw-hill New York, 1988.
- [21] Balki MK. Metanol ve etanolün buji ateşlemeli bir motora uygulanmasında performans ve emisyon parametrelerinin incelenmesi [Doktora]: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

SİNOP ÜNİVERSİTESİ
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: MMF-1901-16-20
Proje Başlığı: Buji ile ateşlemeli motorların deneylerinde kullanılması için farklı alternatif yakıtlara uyumlu elektronik kontrollü bir yakıt enjeksiyon sisteminin geliştirilmesi
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ Araştırmacılar: Doç. Dr. Murat SARIKAYA, Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim KARABULUT, Öğr. Gör. İ. Umut DURAN, Öğr. Gör. Volkan ÇAVUŞ.
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Sinop Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Osmaniye Köyü Nasuhbaşoğlu Mevkii 57000 / Sinop
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: --
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 12/12/2016-12/12/2018
Öz (en fazla 70 kelime): Projede tek silindirli buji ateşlemeli bir motorun yakıt sistemi port tipi yakıt enjeksiyon sistemine dönüştürülmüştür. Sistem etanol ve isobütanol gibi alternatif yakıtlara göre tasarlanmış ve hava fazlalık katsayı değiştirilebilir hale getirilmiştir. Portatif olarak tasarlanan sistem farklı sensör ve bağlantı aparatları ile motora uyarlanmış ve üç farklı yakıt türü ile çalıştırılmıştır. Sonuç olarak sistem, yakıtların saf ve karışım olarak kullanımında ani yük artışıdaki görülen düzensizlik dışında başarı ile çalıştığı tespit edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Buji Ateşlemeli Motor; Yakıt Enjeksiyon Sistemi; Etanol; İsobütanol; Hava Fazlalık Katsayısı (HFK); Egzoz Emisyonu
Projeden Yapılan Yayınlar: a. Proje kapsamında yayın yapılmış mı? Hayır b. Proje kapsamında patent alınmış mı? Hayır c. Projede patent alma potansiyeli var mı? Evet